

견관절의 해부학과 생역학 (Anatomy and Biomechanics of the Shoulder)

경희대학교 의과대학 동서신의학병원 정형외과학교실

조남수

견관절은 고관절이나 슬관절 또는 다른 여러 관절과는 해부학적으로나 기능적으로 여러 가지에서 다르다. 고관절은 대퇴골 두를 덮고 있는 비구(acetabulum)가 잘 발달되어 관절의 안정성을 얻어낼 수 있으나 견관절은 마치 골프티 위에 골프공을 올려놓은 것처럼 관절와(glenoid)가 상완골 두(humeral head)의 1/2내지는 1/4만을 덮고 있어 골 구조물(bony architecture)만으로는 안정성을 기하기가 힘든 관절이다. 또한 슬관절처럼 전 운동범위에서 관절의 긴장도를 유지시키는 각각의 인대가 있어 어떠한 운동범위에서도 안정성을 가질 수 있는 인대의 구조물도 가지고 있지 못하다. 견관절 운동의 특성상 x-y-z축을 이루면서 삼차원적으로 움직이고 있어 중간 운동범위(mid-range of motion)에서는 안정성에 기여하는 인대가 느슨하여야 운동이 가능하기 때문이다. 이와 같은 구조적 특성이 있으나 역학적으로 안정성을 잘 유지하면서 우리 몸에서 가장 큰 운동범위를 얻어야 하는 관절이 바로 견관절이다. 견관절은 다른 부위와 다르게 관절 위에 견봉이라는 지붕을 가지고 있어 견관절을 덮고 있는 회전근 개는 어느 정도 제한된 공간에서 움직이게 된다. 견관절은 1) 가동성(mobility), 2) 안정성(stability), 3) 근력성(strength), 4) 평활성(smoothness) 등 4가지의 기본적인 역학적 특성(M3S)을 가지고 있다. 위의 역학적 특성에 이상이 오는 경우 상대적으로 1) 관절강직(stiffness), 2) 불안정성(instability), 3) 근력약화(weakness) 및 4) 거침성(roughness) 등으로 나타나게 된다.

Anatomy and Biomechanics related with Stability

견관절의 안정성에 관여하는 생역학은 크게 두가지로 정적 역학(static mechanism)과 역동적 역학(dynamic mechanism)으로 구별할 수 있다. 정적으로는 골 구조물(bony architecture), 관절와 순(glenoid labrum), 오목한 관절와, 관절내 음압(intra-articular negative pressure), 응집력 및 유착력(cohesion & adhesion), 흡입 기전(suction mechanism), 관절낭 인대의 구속력(capsuloligamentous restraint) 등이 있으며, 동적으로는 회전근 개(rotator cuff muscles), 이들의 오목성 및 압력성 기전(concavity-compression mechanism), 상완 이두 장건(long head of biceps), 견갑 주위의 근육들(periscapular muscles)의 역동적 기능을 들 수 있다.

Static Stability Factors

1. Orientation of the Articular Surface (Glenoid version & Humeral version)

상완골 두(humeral head)와 관절와(glenoid)의 모양이나 크기, 후방 경사(retroversion)는 개인의 차이가 매우 다양하지만 대개 상완골은 130~140도의 neck-shaft angle을 갖고 30~35도로 후방 경사를 이루고 있으며 관절와의 후방 경사는 5~10도로, 상완골 두와 관절와의 후방경사 합은 대개 40도를 이루게 된다. 견갑골

은 약 30-35도 정도로 흉곽에 부착되어 있어 견갑면(scapular plane)은 관상면(coronal plane)의 전방 30~35도와 일치하게 된다. 관절와의 기울기는 약 5도 정도로 위를 향하고 있어 이러한 상향 수직 기울기(upward vertical tilt)가 하방 전위(inferior translation)을 막아주게 된다. 간혹 관절와의 후방 경사가 비정상적으로 큰 경우(excessive glenoid version) 후방 불안정성(posterior instability)을 보일 수 있으며 관절와가 얇아졌거나 비정상적으로 작거나 기울기가 적은 경우(glenoid dysplasia) 불안정성을 초래할 수도 있다. 그러나 위의 후방 경사 정도는 개개인의 차이가 많고 다양하여 불안정성의 기여도를 알기가 매우 힘들며 실제 관여하지도 않는다고 보고하기도 한다.

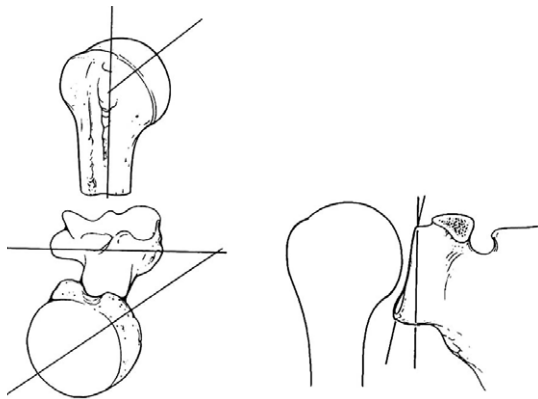


Fig. 1.

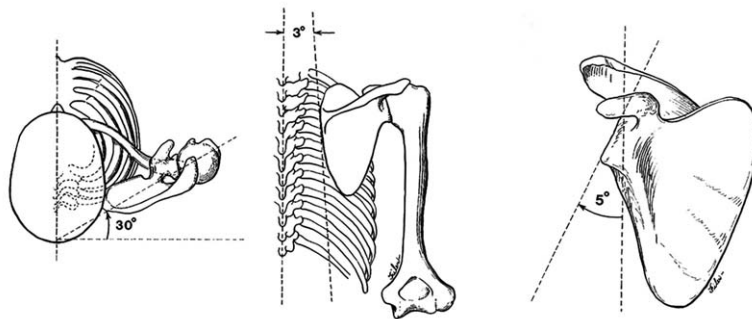


Fig. 2.

2. Articular Conformity

관절와 면(glenoid articular surface)은 서양배 모양(pear shape)으로 생겨 하반기의 전후방길이가 상반기보다 약 20%정도 크고 넓으며 전후 축(anteroposterior axis)에 비해 상하 축(superoinferior axis)이 2배정도 깊다.

관절와 상완 관절은 거의 구형(spherical type)에 가까운 관절로 관절와와 상완골 두의 반경의 차이가 대개는 2 mm미만이다. 관절와의 연골은 중앙보다는 가장자리에서 보다 두껍고 상완골 두는 이와 반대로 중앙의 연골이 두꺼워 서로 잘 밀착되어 있으며 관절와는 실제 방사선 사진에서 관찰되는 것보다 더 오목하게 되어 안정성을 얻게 된다. 관절와의 관절면은 상완골 두의 면의 1/2 내지 1/4 정도이며 상완골 두의 직경은 관절와

의 거의 2배이다. 견관절 운동시 어떠한 운동각도에서도 상완골 두와 관절와의 실제 접촉면이 약 25-30% 정도로 대단히 적어 이러한 적은 접촉면이 관절와 상완 관절(glenohumeral joint)의 불안정성을 가져다 줄 수 있는 하나의 요인이 된다. 이와는 반대로 견관절은 최소한의 골성 구속(bony constraint)을 가지고 있어야만 우리 몸에서 가장 큰 운동범위를 갖을 수 있다. 따라서 견관절은 골 구조물 이외에 주위에 싸여 있는 연부 조직이 안정성을 유지하는데 절대적으로 필요하게 된다. 관절의 접촉면은 중간 거상(mid-range elevation) 위치에서 즉, 60도와 120도 사이에서 가장 크며 거상 각도가 증가할수록 상완골 두의 접촉점은 하방에서 후상방으로 이동하고 관절와의 접촉점은 후방으로 이동한다. 견관절 운동시 완전한 “ball-and-socket”으로 움직이는 것은 아니다. 중간 거상(mid-range elevation)에서는 회전운동(rotation)만 일어나지만 최대 운동범위(extreme motion)로 갈수록 회전운동(rotation)과 동시에 평형 이동(translation)이 일어나 외회전을 하면 상완골 두가 후방으로 평형이동을 하게 되며 내회전을 하면 상완골 두는 전방으로 이동하게 된다.

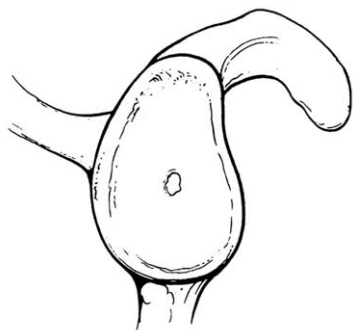


Fig. 3.

Fig. 4.



Fig. 5.

*** Biomechanics of the Concavity**

오목한 관절와 순에 놓여진 상완골 두는 주위에서 싸고 있는 회전근 개의 균형에 의해 안정성을 잘 유지하고 있어 이를 오목성-압력 기전(concavity-compression mechanism)이라 한다.

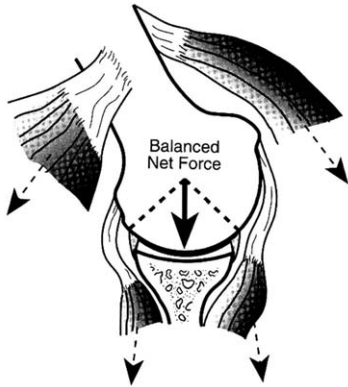


Fig. 6.

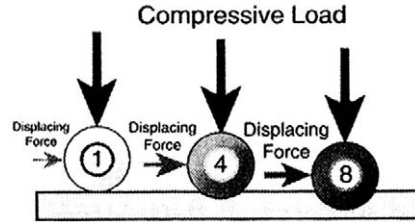


Fig. 7.

만약 평편한 바닥에 공이 있다고 하자. 공이 미끄러지지않게 위에서 압력을 가하고 있어도 옆에서 약간만 힘을 주어 건드리면 쉽게 공이 빠져 미끄러지게 된다. 그러나 공 사이즈와 같은 크기로 오목하게 홈을 파서 그 위에 공을 놓고 그 위에서 공이 빠져나가지 않게 누르고 있으면 웬만한 힘으로 공을 밀어도 제자리에서만 움직이지 잘 미끄러지지 않는 것을 관찰할 수 있다. 이처럼 관절와의 오목함(concavity)은 건관절의 안정성에 대단히 중요하다.

3. Glenoid Labrum

관절와 순(glenoid labrum)은 관절와 연(glenoid rim)을 덮고 있는 섬유 구조물(fibrous structure)로 상하 방향으로 9mm의 깊이를 가지고 있고 전후방으로는 5 mm의 깊이를 가지고 있어 관절와 전체 깊이의 50% 정도를 관여하고 있으며, 관절와 연의 가장자리에 삼각형 모양을 하거나 둥근 모양으로 두툼하게 놓여져 있어 관절와 상완 관절의 평행 이동(glenohumeral translation)을 조절하는 “chock block”의 역할을 하게 된다. 다시 말해 관절와 순이 실제 관절와(bony glenoid)의 깊이만큼 관절와 연을 덮어 관절와는 더욱 오목하게 되고 안정성을 그만큼 더 얻게 된다.

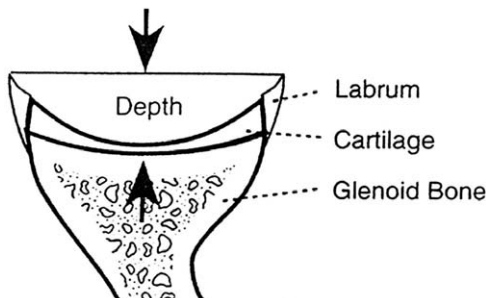


Fig. 8.

관절와 순의 상부는 약 60%에서는 관절와 연과 분리돼 마치 “meniscus” 처럼 부착되어 있으며 40%에서는 하부에서와 같이 관절와 연에 견고하게 부착되어 있다. 관절와 순에서 기시하는 구조물로는 관절와 상완 인대(glenohumeral ligament), 상완 이두 장건(long head of biceps), 상완 삼두 장건(long head of triceps)

등 여러 가지가 있는데, 후상부에서는 상완 이두 장건이 시작되고 전하부에서는 하방 관절와 상완 인대 (inferior glenohumeral ligament)가 이행된다.

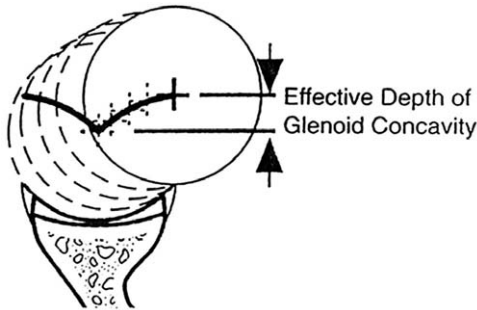


Fig. 9.

상부 관절와 순의 내측은 정상적으로 관절와 연과 떨어져 있는 경우가 많아 SLAP병변과 잘 구별하여야 하나 하부 관절와 순은 관절와 연에 견고하게 부착되어 있어 그렇지 않은 경우는 일단 병변으로 간주하여야 한다. 최근 연구에서 상부 관절와 순을 인위적으로 관절와 연으로부터 박리하면 전후방 및 하방으로의 전위가 쉽게 일어나며 그 정도도 정상에 비해 크게 일어남을 알 수 있다. 이는 특히 거상 운동범위가 적은 위치에서 나타나 상부 관절와 순 병변(SLAP)시에 보이는 과도한 하방 전위를 잘 설명하여 주고 있다.

4. Negative Intra-articular Pressure (NIP)

두툼한 관절와 순은 화장실에서 사용하는 흡입기와 마찬가지로 상완골 두를 잡아주는 역할을 하는데 이를 흡입 기전(suction mechanism)이라 한다.

실제 견관절을 주사기로 관통시키면 음압이 소실되고 관절내의 압력이 외부와 동일하여 쉽게 상완골 두가 하방으로 처지는 것을 볼 수 있으며, 실제 사체 실험에서 음압을 제거시키면 전방으로 상완골 두를 미는데 필요한 힘이 정상치에 비교하여 약 55%까지 감소하게 되며 또한 내전 상태(adduction)에서 하방 전위가 쉽게 일어나게 된다. 또한 흡입기의 한쪽에 마모가 일어나거나 찢어지면 음압이 형성되지 않아 제대로 사용할 수 없는 것과 같이 관절와 순을 일부 제거하면 안정성의 20% 정도가 손실되게 된다.

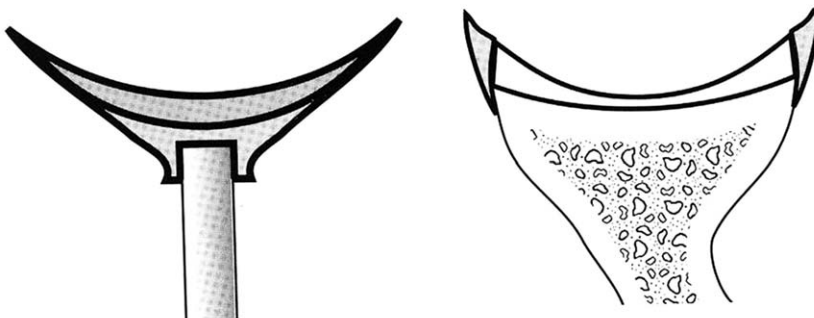


Fig. 10.

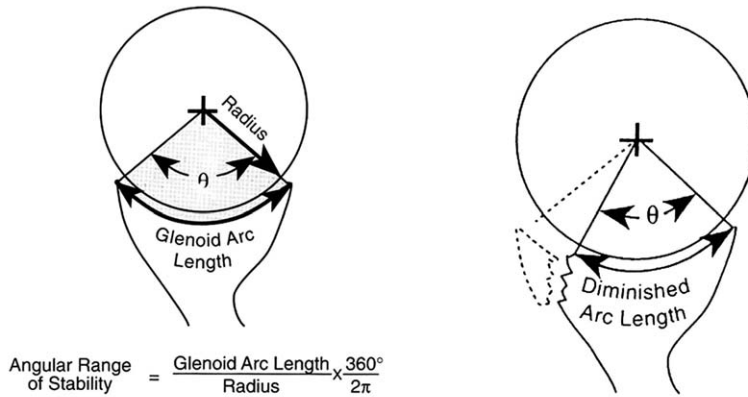


Fig. 11.

5. Adhesion-Cohesion

흡입 기전(suction mechanism)으로 형성된 관절내 음압 외에 물의 성질인 응집력과 유착력으로 견관절의 안정성을 얻게 된다. 슬라이드 두장 사이에 약간의 물을 넣고 서로 떼어 보려고 하면 잘 안 떨어지는 것을 경험하게 되는데 이와 마찬가지로 견관절 내에는 정상적으로 1 ml 미만의 관절액만 있어 상완골 두가 관절와와 잘 안 떨어져 제자리에 유지하게 된다. 이러한 역할이 바로 응집력(cohesion) 때문이다. 잎사귀의 물방울이 바로 가깝게 있으면 어느 순간 서로 합쳐지려는 경향이 있는데 이를 유착력(adhesion)이라 한다. 견관절 내의 관절액도 이와 같은 현상들로 안정성에 기여하고 있다.

6. Capsulo-ligamentous Structures

견관절의 관절낭은 넓은 관절와 상완 운동(glenohumeral motion)을 허용하여야 하기 때문에 매우 크고 느슨하며, 일상생활(daily activity)이 주로 견갑면(scapular plane)의 전방에서 일어나고 있어 전방 관절낭이 후방 관절낭보다 훨씬 여유가 있다.

이렇게 느슨한 전방 관절낭은 3가지의 관절와 상완 인대(glenohumeral ligament)로 보강되어 최대한의 관절운동(extreme motion)에서는 상당한 긴장도(tension)를 유지하여 불안정성을 막아주는 역할을 하게 된다.

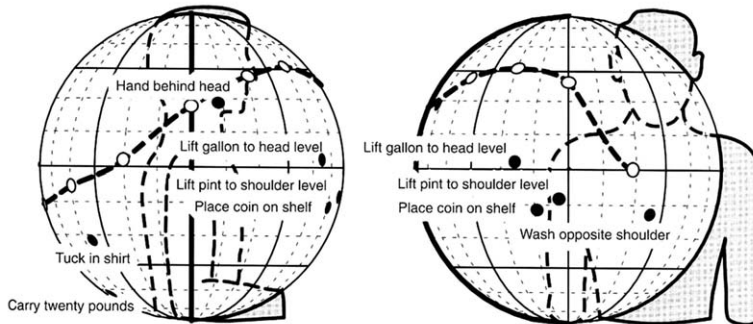


Fig. 12.

전방 관절낭을 싸고 있는 3가지의 인대는 위에서부터 상 관절와 상완 인대(superior glenohumeral ligament, SGHL), 중 관절와 상완 인대(middle glenohumeral ligament, MGHL), 하 관절와 상완 인대(inferior glenohumeral ligament, IGHL)이며 이들은 관절내 구조물(intra-articular structure)들이다. 이들 인대는 해부학적으로 다양하게 존재하며 특히 중 관절와 상완 인대(MGHL)는 없는 경우도 있다. 드물게는 “Buford complex”라 하여 중 관절와 상완 인대가 단단하게(cordlike) 형성되어져 있는 경우가 있고, 전상방 관절와 순(anterosuperior labrum)은 관절와와 분리되어 커다란 외순하 공(sublabral hole)을 이루는 경우가 있다. 이는 드물지 않게 보이는 전상방 관절와 순(anterosuperior labrum)의 변형으로써 전방 불안정시 보이는 하 관절와 상완 인대(IGHL)의 파열과 간혹 혼동이 되기도 하여 세심한 관찰을 요한다. 상 관절와 상완 인대(SGHL)가 놓여진 같은 위치에 관절외 구조물(extra-articular structure)로 오구 상완 인대(coracohumeral ligament, CHL)가 있으나 간혹 해부학적으로 구별이 잘 안되는 경우가 있다. 이 두가지의 인대는 서로 기능이 비슷하여 팔이 내전(adduction)상태에서 상완골 두의 하방 전위(inferior translation) 및 전후방 전위(anteroposterior translation)에 관여하게 된다. 회전 간격(rotator interval)은 극상근(supraspinatus)과 견갑하근(subscapularis) 사이에 존재하는 공간으로 위에 상 관절와 상완 인대와 오구 상완 인대가 놓이게 된다.

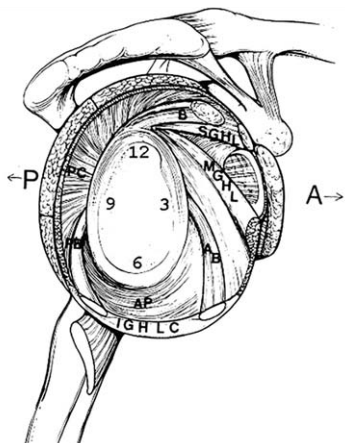


Fig. 13.

상 관절와 상완 인대(SGHL)는 상완 이두 장건의 전방 즉 전상방 관절와 순(anterosuperior labrum)에서 기시하여 상완 이두 건구(bicipital groove) 가까이 소 결절(lesser tuberosity)의 상부에 붙는다. 중 관절와 상완 인대(MGHL)는 상부 관절와(superior glenoid)에 부착하는 상 관절와 상완 인대(SGHL) 주위에서 시작하여 견갑하근을 비스듬히 가로 지르면서 소 결절에 와 붙는다. 하 관절와 상완 인대(IGHL)는 중 관절와 상완 인대(MGHL)의 바로 하방 즉 전하방 관절와 순(anteroinferior labrum)에서 시작하여 상완골 경부(humeral neck)에 가서 부착하게 된다. 하 관절와 상완 인대는 해부 기능상 전대(anterior band), 액와 멧낭(axillary pouch), 후대(posterior band) 등 3가지로 구분하여질 수 있다. 이 3가지의 인대는 불안정성을 막아주는 구속력(restraint)을 가지고 있어 견관절의 운동위치에 따라 각각 관여하게 된다. 후방 관절낭(posterior capsule)은 상완 이두 장건의 기시부 후방부터 하 관절와 상완 인대(IGHL)의 후대(posterior band)의 바로 위까지의 부위를 말하며 이는 가장 얇은 부위로 특별한 인대의 보강은 없다.

상 관절와 상완 인대(SGHL)는 팔이 내전(adduction)한 상태에서 전방 전위(anterior translation)에 지대한 역할을 하며 하방 전위(inferior translation)를 막아주는 역할도 한다. 해부학적으로 오구 상완 인대

(coracohumeral ligament, CHL)가 같이 위치하고 상당수에서 같이 어울려져 있어 오구 상완 인대가 위의 기능을 하게 되기도 한다고 하지만 이와 반대되는 의견도 있다. 견갑하근(subscapularis)의 상연(superior border)과 극상근(supraspinatus)의 전연(anterior margin) 사이의 공간을 회전 간격(rotator interval)이라 하는데 이 부위에 관절내로는 상 관절와 상완 인대(SGHL), 관절외로는 오구 상완 인대(CHL)가 놓여져 있다. 이 간격(interval)이 커지거나 넓어지면 임상적으로 전방 불안정성뿐 아니라 하방 불안정성을 동반하게 된다. 팔이 굴곡-내전-내회전(flexion-adduction-internal rotation)시에는 후방 전위를 제한시키는 이차적 기능을 갖게 된다. 사체 실험상 후방 관절낭을 절개하여도 후방 불안정성을 보이지 않으나 전상방 관절낭을 같이 절개하면 후방으로의 불안정성을 보여져 이를 “circle concept”이라 한다. 이 “circle concept”은 후방 불안정성에서 개방 수술시 후방 관절낭을 T형으로 절개하여 상 관절낭 판(superior capsular flap)을 아래로 끌어 당겨 느슨한 전상방의 관절낭을 팽팽하게 만들어 주는 이유를 잘 설명해 주고 있다. 그러나 외전(abduction) 상태에서는 후방 전위에 대한 관련도는 거의 없다. 따라서 상 관절와 상완 인대(SGHL)는 내전(adduction)상태에서 전후방 및 하방 전위를 제한시키는 중요한 구조물임을 알 수 있다. 전방으로 치우친 상부 관절와 순파열(anterior type of SLAP lesion)인 경우 상 관절와 상완 인대(SGHL)와 중 관절와 상완 인대(MGHL)가 부착된 관절와 순이 찢어져 이로 인해 전후방 및 하방 전위가 증가된 경우를 실제 임상에서 관찰하기도 한다.

중 관절와 상완 인대(MGHL)은 해부학적으로 다양하게 발달되어 일부 없는 경우도 있으며 다른 전방 인대 보다는 기능적으로 중요한 역할은 하고 있지 않다. 다만 중간 부위의 외전(midrange of abduction)에서 전방 전위를 제한시키는 역할을 하고 있다.

하 관절와 상완 인대(IGHL)는 90도 외전 및 외회전시 전방 전위(anterior translation)에 대한 일차적 구속력(primary restraint)을 가지게 된다. 또한 외전 각도가 커지면서 하방 전위(inferior translation)에 대한 구속력도 커지게 된다.

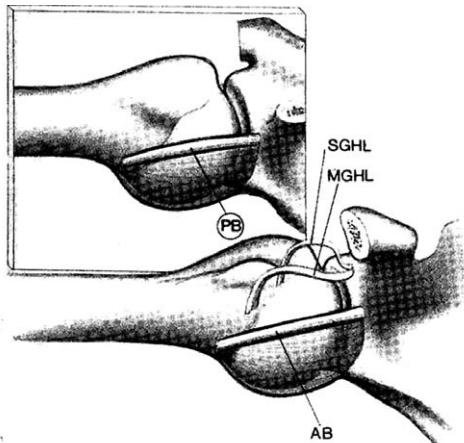


Fig. 14.

이를 자세히 관찰하면 팔이 내회전(internal rotation)되면서 외전된 경우 하 관절와 상완 인대의 전대(anterior band)는 보다 하방에 위치하여 주로 하방 전위(inferior translation)를 막아주는 역할을 하게 되며 후대(posterior band)는 보다 후방에 위치하여 전후방 전위(anteroposterior translation)를 제한하게 된다. 한편 팔이 외회전(external rotation)되면서 외전된 경우는 이와 다르게 전대는 보다 전방에 위치하게 되어 전후방 전위에 관여하게 되며 후대는 보다 하방에 위치해 주로 하방 전위를 막아주는 역할을 하게 된다. 따라서 상완골 두의 회전 방향에 따라 하 관절와 상완 인대의 주역할이 다르게 나타나진다.

물론 굴곡/신전상태에 따라서도 다르게 나타나 신전(extension)된 상태에서는 후대(posterior)보다 전대(anterior band)가 보다 팽팽해져 전대가 전후방 전위에 대한 안정성에 관여하게 되고 굴곡(flexion)상태에서는 이와 반대로 후대가 팽팽하여져 후대의 역할이 더 커지게 된다. 일반적으로 말해 내전 내지는 중립위에서의 안정성은 상방 구조물의 영향을 받게 되고 점차 외전이 될수록 하방 구조물이 안정성에 관여하게 된다.

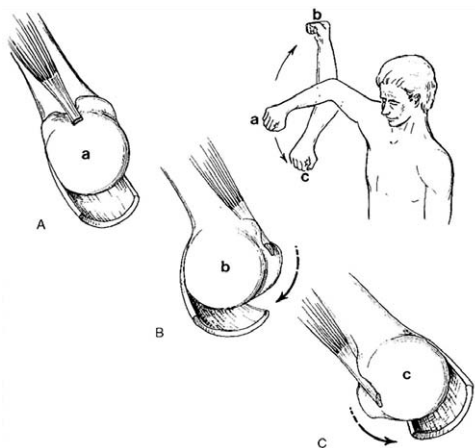


Fig. 15.

*** Obligate Translation of Humeral Head: Physiologic or Pathologic**

견관절을 굴곡-신전, 외회전-내회전 할 때 tight해지는 관절막의 반대 방향으로 상완골 두의 중심이 관절와 중심에 대하여 이동하는 현상이 발생한다. 예를 들어 어깨를 외회전하면 앞쪽 관절막이 tight해지고 상완골 두는 후방으로 2 mm 정도 중심이 이동하여 후방 구조물의 internal impingement가 생기지 않게 한다. 그러나 견관절 전방 불안정성에서는 전하방 관절막의 이완이 있는 경우가 많고 이러한 경우에 외전-외회전을 해도 느슨한 관절막이 충분히 tight해지지 못하기 때문에 obligatory translation이 후방으로 일어나지 못해서 internal impingement가 발생할 수 있다. 반대로 견관절 전방 불안정성을 수술하면서 전방 및 전하방 관절막을 너무 tight하게 만든 경우에는 어깨를 외전-외회전하면 너무 tight한 관절막 때문에 obligatory translation이 너무 많이 일어나면서 관절의 마찰이 많아져 관절 연골의 손상이 조기에 발생할 수 있다 (capsulorrhaphy arthropathy).

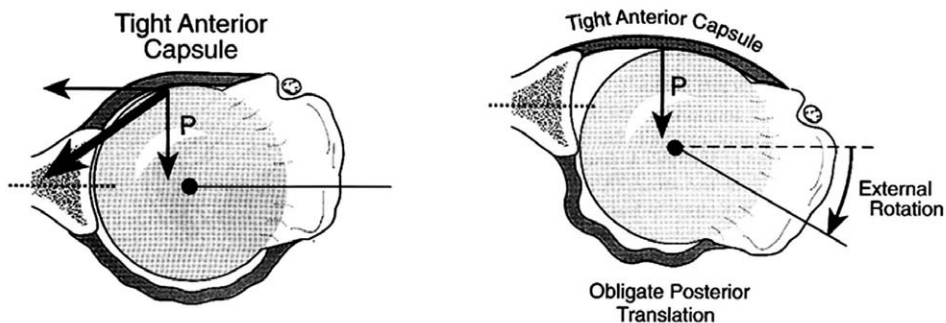


Fig. 16.

Dynamic Stability Factors

1. Joint Compression Effect

회전근 개의 수축은 상완골 두로 하여금 오목한 관절와에 대해 압축(compression)을 가하게 함으로써 상완골 두를 움직일 수 있는, 즉 전위(translation)를 일으키는데 필요한 힘(load)을 증가시키게 된다. 이를 오목성-압력성 기전(concavity-compression mechanism)이라 한다.

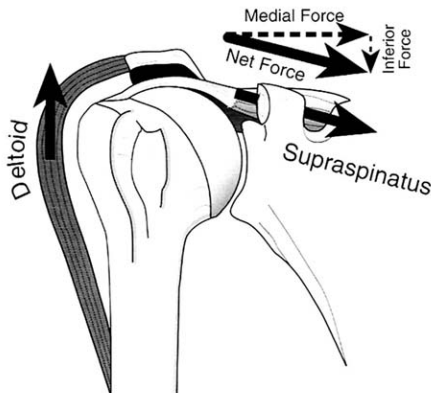


Fig. 17.

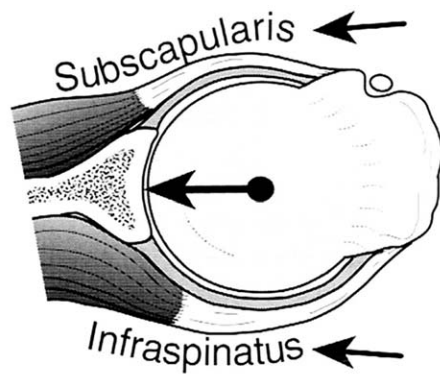


Fig. 18.

관절와 순(glenoid labrum)이 정상적으로 관절와(glenoid)를 잘 덮고 있어 제 기능을 하고 있으면 상완골 두를 움직일 수 있는 접선력(tangential force)은 최소한 압축력(compression load)의 60% 이상이 되어야 한다. 다시 말해 상완골 두의 전위를 일으키려면 최소한 회전근 개가 상완골 두에 가하고 있는 압축력의 60%보다 강한 힘을 옆에서 가하여야 한다는 것이다. 만약 관절와 순을 일부 제거하거나 관절와의 골 결손이 있는 경우는 아무리 회전근 개가 상완골 두에 대해 압력을 가해도 이보다 훨씬 적은 힘으로 쉽게 전위가 일어남은 임상적으로 전위 검사(drawer test)를 통해 경험할 수 있다. 한편 사체를 통해 실험한 결과 후방 회전근 개의 최대 수축이 전방 인대의 변형(strain)을 줄여줄 수 있어 회전근 개가 견관절 불안정성에 이차적인 안정 구조물(secondary stabilizer)임을 뒷받침 하여 주고 있다. 즉 후방 회전근 개(posterior cuff)가 수축하게 되면 상완을 외회전(external rotation)을 시킴과 동시에 관절와에 대해 상완골 두를 후방으로 전위(posterior translation)시켜 이러한 후방 전위가 전방 관절낭 인대를 쉬게 하여 줌으로써 전방 인대의 변형(strain)을 줄여줄 수 있다는 것이다. 이와는 반대로 관절낭 인대의 부전(capsuloligamentous insufficiency)이 있으면 이를 보상하기 위하여 회전근 개는 과사용(overuse), 피로(fatigue)가 가중되어 손상을 받기가 쉬워진다. 견관절 불안정성시 근육 강화운동을 권장하는 이유는 바로 위의 여러 가지 이유로 설명할 수 있다.

2. Coordinated Rotator Cuff Contraction

회전근 개는 관절와 상완 관절(glenohumeral joint)의 전위(translation)를 조절하는 역할과 관절을 움직이게 하는 역동적 기능을 가지게 된다. 전방으로는 견갑하근(subscapularis)이 놓여 전방 전위를 제한하게 되며, 후방으로는 극하근(infraspinatus)과 소원형근(teres minor)이 있어 후방 안정성에 관여하게 된다. 이들

은 견관절의 안정성에 대하여 정적인 역할(static role)과 동적인 역할(dynamic role)을 동시에 하게 되는데, 전자는 긴장도(tension)에 의해 이루어지고 후자는 압축(compression)과 균형(balance)에 의해 일어나게 된다. 견관절의 최대 운동범위(extreme motion)에서는 관절낭 인대가 팽팽해져 긴장(tension)을 유지하게 됨을 알 수 있다. 긴장된 인대를 보호하려고 견관절 주위의 근육은 선택적으로 수축이 일어나게 되는데, 이러한 것은 관절낭 인대 내에 신장 수용체(stretch receptor)가 존재하여 이루어지는 일련의 반응이라 하고 있으며, 비정상적인 근육 수축의 반응은 수의성 불안정성(voluntary instability)으로 나타나지게 된다.

3. Ligament Dynamization

이러한 회전근 개의 수축으로 인한 안정성 효과는 견관절의 위치에 따라 다르다. 중간 운동범위(mid-range motion)에서는 전방 관절낭 인대가 느슨하여 인대의 안정성 기여보다는 회전근 개의 압축력이 안정성에 관여하게 되지만, 최대 운동범위(extreme motion)에서는 관절낭 인대가 팽팽하여 이러한 인대가 견관절의 안정성에 기여하게 된다. 또한 견관절의 위치가 변하면서 회전근 개의 힘 방향이 다르게 작용하게 된다. 실제 회전근 개들은 중간 운동범위에서는 관절의 바로 전후방에 위치하여 전후방 전위(anteroposterior translation)를 막을 수 있게 되지만 최대 운동범위로 가면서 그 힘의 장력이 관절보다 점점 위로 올라가 효과적으로 전위를 막아주지는 못하게 된다. 따라서 외전 및 외회전에서 안정감이 없는 전방 불안정성에서는 근육 강화운동이 커다란 도움이 되지 않는 반면, 중간 운동범위에서 안정감이 없는 다방향 불안정성에서는 근육 강화운동으로 치료를 할 수 있다는 것을 생역학적으로 잘 이해할 수 있다.

4. Kinematics: Effect of Scapulothoracic Motion

견관절 안정성에 영향을 미치는 견관절 주위의 근육들은 승모근(trapezius), 견갑거근(levator scapulae), 능형근(rhomboid), 광배근(latissimus dorsi), 전방거근(serratus anterior)들로 이들은 견갑골로 하여금 상완골 두를 안정성 있게 받쳐 주며 팔의 움직임에 따라 관절와(glenoid)가 상완골 두와 균형을 이루면서 이동할 수 있게 하는 근육들이다. 반복되는 overhead activities에 의해 전방거근 및 승모근의 피로가 발생될 수 있으며 이는 견갑 흉곽 운동(scapulothoracic motion)의 이상을 초래할 수 있다. 또한 견갑 회전 근육의 기능 이상이 오면 하방 전위(inferior translation)에 관여하는 관절와의 경사도(inclination)에 영향을 미쳐 불안정성을 초래하게 된다. 실제 임상적으로 익상견(winging scapula)를 보이는 환자에서 전방 및 후방 불안정성을 보이는 경우는 이러한 이유로 생기게 되는 것이다. 승모근의 이상이 있으면 견갑골은 외측으로 회전되어 견갑골의 하각(inferior angle)과 척추와의 거리가 멀어지게 되며, 전방거근의 이상이 있으면 견갑골은 내측으로 회전되어 견갑골 하각과 척추와의 거리는 좁아지게 되어 이로 인한 충돌 증후군 또는 불안정성을 호소하게 된다. 또한 전방 불안정성을 보이는 환자에서 견갑 회전 근육의 이상으로 외전(abduction)시 견갑골의 이상한 움직임을 관찰하기도 한다.

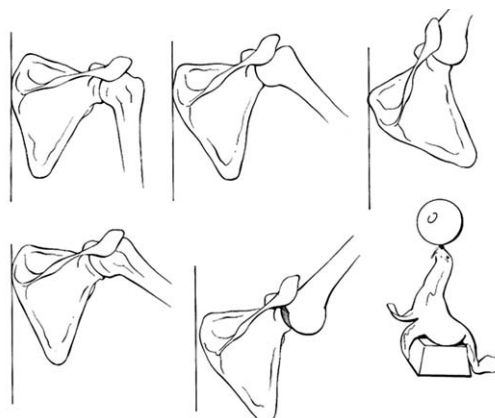


FIG. 10. (Top row) Normal scapulothoracic rotation positions the glenoid underneath the humeral head so that it acts as a stable platform. (Bottom row) Failure of proper scapulothoracic motion results in loss of the stable glenoid platform underneath the humeral head. This is analogous to a seal balancing a ball on its nose. (From Warner J.P., Caborn D.N.M. Overview of shoulder instability. *Crit Rev Phys Rehabil Med* 1992;4:145-198, with permission.)

Fig. 19.

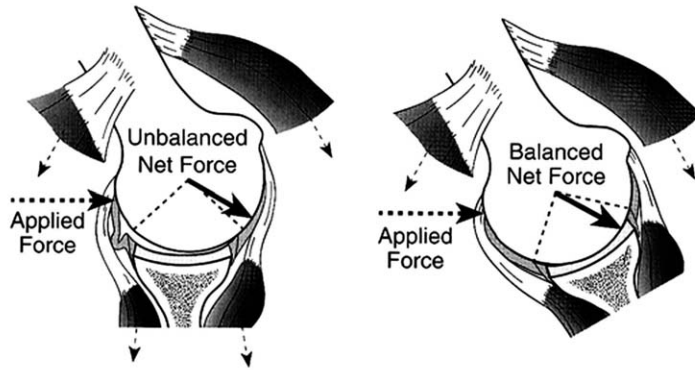


Fig. 20.

Interactionship between Static and Dynamic Stabilizers

정적(Static) 및 동적(dynamic) 안정화 구조물은 각각 별개로 작용하는 것이 아니라 서로 함께 작용한다. 상완골 두의 전위가 적을 때는 동적 안정화 구조물(dynamic stabilizers)이 더 중요하고, 전위가 커지면 정적 안정화 구조물(static stabilizers)이 더 큰 역할을 하게 된다.

* Proprioception

: Proprioceptive mechanoreceptors는 관절 위치와 운동(joint position and motion)에 관한 정보를 전기 신호로 변환하고, 이를 통해 관절낭(Capsule)과 인대(ligaments)는 정적(statically)으로 관절 운동을 조절하고 안정화 시킬 뿐 아니라 회전근 개와 상완 이두 장건의 반사성 근 조절(reflexive muscular control)을 위한 afferent feedback을 제공한다.

Anatomy and Biomechanics related with Rotator Cuff

Anatomy

회전근 개 질환(rotator cuff disease)을 효과적으로 치료하고 손상을 예방하는 데는 정상 회전근 개의 해부학적 구조와 생역학을 이해하는 것이 중요하다. 치료의 궁극적인 목표는 정상적이거나 정상에 가까운 회전근 개의 기능과 생역학의 회복에 있기 때문이다. 회전근 개는 서로 서로가 연결이 되고 상완골 결절의 기시부에서는 하나의 지속적인 대(band)를 이루면서 부착하고 이들을 분리하기가 힘들어 각각 별개의 구조물로 다루기 보다는 전체적으로 접근하여야 회전근 개 질환의 다양성에 대한 병인기전을 이해할 수 있다.

1. Rotator Cuff and related Anatomy

회전근 개(rotator cuff)는 전방에 견갑하근(subscapularis), 상방에 극상근(supraspinatus), 후방에 극하근(infraspinatus)과 소원형근(teres minor)으로 구성되어 있으며, 전방에 놓여진 견갑하근은 강력한 내회전 운동을 관여하고 후방의 극하근과 소원형근은 외회전 운동에 관여한다. 상방의 극상근은 삼각근과 함께 외전 운동에 관여하게 된다. 전상방에서 견갑하근(subscapularis)과 극상근(supraspinatus)사이에는 얇은 막이 형성되어 관절내에서는 상 관절와상완 인대(superior glenohumeral ligament)가 놓이고 그 사이에 상완 이두 장근(long

head of the biceps)이 위치하게 되며, 관절외에서는 오구 상완 인대(coracohumeral ligament)와 합쳐져 회전 간격(rotator interval)을 이루게 된다. 이들의 견 활주(tendon slip)는 서로 연결되어져 하나의 회전근 개가 수축하면 그 근육에만 힘이 걸리는 것이 아니라 주위의 건(tendons)들에도 영향을 주게 되어 이러한 연결고리가 회전근 개 파열의 병리 기전에 매우 중요하다. 회전근 개의 단면을 보면 5층으로 구분할 수 있는데 제일 상층은 오구 상완 인대(coracohumeral ligament)의 첨부 섬유(superficial fiber)로 구성되어 있으며 두번째 층은 회전근 개 건의 주 구성(main structure)으로 이루어져 건 섬유가 서로 상완골을 향하여 평행하게 배열되어져 있다. 세번째 층의 심부 회전근 개는 네번째 층에 놓여진 교원 섬유와 연결되기 위하여 첨부 회전근 개보다 적은 근막을 가지고 있으며 불규칙한 배열을 하고 있다. 이러한 불규칙한 회전근 개 건 섬유의 배열로 전단력(shear force)에 의한 건내 파열(intrasubstance tear)이 일어나는 기전을 설명할 수 있다. 네번째 층은 이완성 결합 조직인 오구 상완 인대 심부 층의 연장(extension of deep layer of coracohumeral ligament)으로 횡대(transverse band), 피막 주위대(pericapsular band), 또는 소위 회전색(rotator cable)로 불려지고 있으며 두꺼운 교원 섬유의 대가 회전근 개 건과는 수직으로 배열되어져 건 기시부에 전달되는 힘을 분산시켜주는 역할을 한다. 간혹 회전근 개가 파열된 환자에서 통증 없이 지내는 경우가 있는데 이는 위와 같은 해부학적 회전색의 기능으로 주위의 회전근 개가 힘을 흡수하여 분산시키기 때문이다. 회전근 개는 상완골에 마치 현수교(suspension bridge)처럼 아치를 이루면서 부착되어 이를 크게 반월 우세(crescent dominant)와 색 우세(cable dominant)로 나눌 수 있다. 반월 우세는 상대적으로 젊은 층에 잘 발달되어져 있으며 색(cable)보다 얇은 반월(crescent)이 잘 발달되어 있어 장력의 힘이 반월에 충분히 전달된 후 색으로 분산되어진다. 이에 반해 나이가 들면서 색 우세가 많아 반월 부위는 매우 얇아져 점차 응력 방패 효과(stress shielding effect)를 가져와 쉽게 파열될 수 있는 상황을 만들게 된다. 다섯번째 층은 관절낭으로 관절외에서 상완골로 원통형으로 불규칙하게 배열되어 있다.

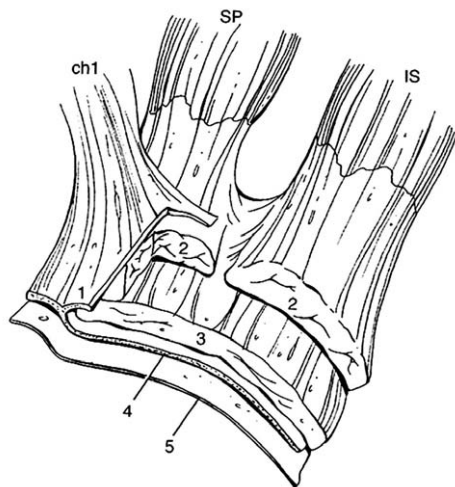


Fig. 21.

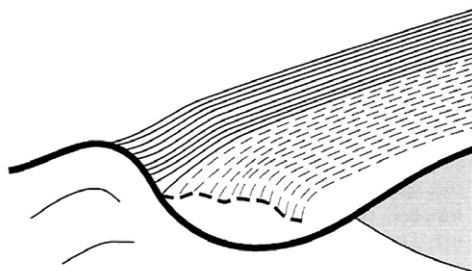


Fig. 22.

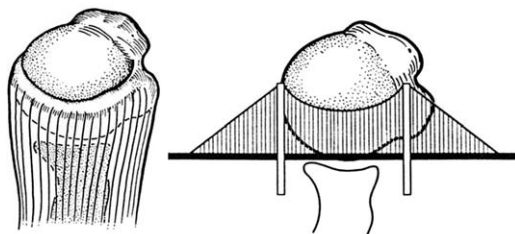


Fig. 23.

극상건은 전방이 후방에 비해 더 두껍고 최대부하(ultimate load)나 응력(stress)이 더 크며 탄성계수(modulus of elasticity)가 더 커 중간이나 후방에 비해 가장 강하고 주기능을 하는 부위이다. 관절 내면의 극상

건(articular side of supraspinatus)은 점액낭 면(bursal side)의 극상건보다 탄성계수가 크고 최대변형 및 응력이 적어, 같은 부하가 걸리면 관절내면의 극상건이 보다 쉽게 장력에 의해 손상받을 수 있다. 이 역시 회전근개 섬유질의 불규칙한 배열에 따른 것으로도 영향이 있을 수 있으며 위의 근거로 부분 회전근개 파열이 점액낭 면(bursal side)보다는 관절내 면(articular side)에 많은 이유를 설명할 수도 있다. 이와 같이 회전근개의 기시부가 해부학적으로 복잡하고 주위의 오구 상완 인대(coracoacromial ligament)와 관절낭 구조물(capsular structure)이 함께 부착되어 있어 회전근개 역학의 복잡성과 회전근개 질환의 다양성을 이해할 수 있다.

2. Coracoacromial Arch Anatomy

오구 견봉 궁(coracoacromial arch)는 직립동물 특히 인간에게 잘 발달된 구조물로 견봉(acromion), 오구 견봉 인대(coracoacromial ligament), 오구 돌기(coracoid process)로 구성되어 있으며 회전근개의 바로 상방에 위치해 견관절의 지붕을 이루게 된다. 또한 내측으로는 견봉 쇄골 관절이 놓이게 되고 오구 견봉 인대의 일부가 부착하게 되어 오구 견봉 궁의 일부를 차지하게 된다.

이 지붕 밑에는 거의 공간이 없이 극상건(supraspinatus)이 지나가게 되어 이를 극상건 출구(supraspinatus outlet)라 하며 극상건은 상완골 두(humeral head)와 오구 견봉 궁(coracoacromial arch)사이에서 어떤 이유든지 눌릴 수 있는 여러 상황을 만나게 되어 이를 충돌 증후군(impingement syndrome)이라 하고 있다. 오구 견봉 인대는 내대(medial band) 및 외대 (lateral band)로 이루어져 있는 삼각형 모양의 인대로 충돌 증후군에서는 외대가 특히 발달되어 짧고 두꺼워져 있다고 하였다.

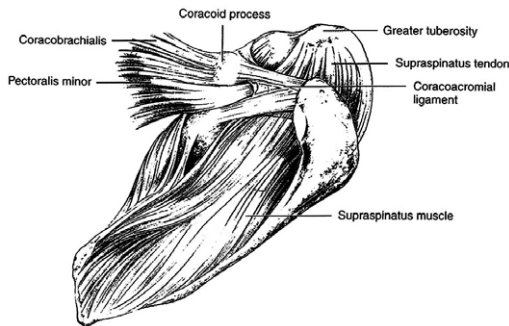


Fig. 24.

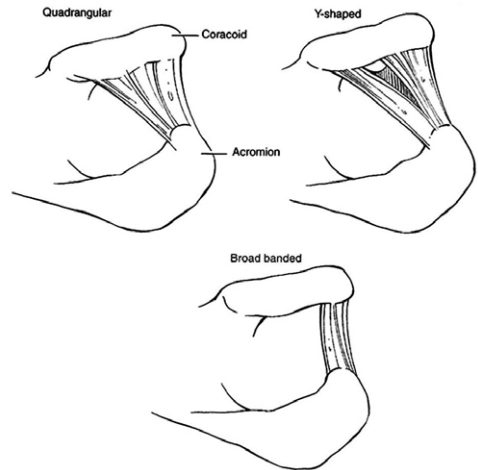


Fig. 25.

Rotator Cuff Kinematics

1. Primary Function of the Rotator Cuff

능동적 거상시 삼각근에 의해 유발되는 상방 전단력(upward shear forces)에 대하여 상완골 두를 하방으

로 눌러주는 기능을 하며, 삼각근 운동에 대한 지렛대(fulcrum) 역할을 한다. 또 관절와 상완 관절의 동적 안정화 구조물(dynamic stabilizer)로서 직접 관절을 압박하고 상완골 두가 관절와 중심의 2 mm 이내에 항상 유지될 수 있도록 조절하여 준다.

중간 운동범위(mid-range motion)에서 회전근 개 수축시 관절와 상완 인대 및 관절낭을 장력 하에 놓이게 하여(dynamization of GH lig) 안정화에도 기여한다.

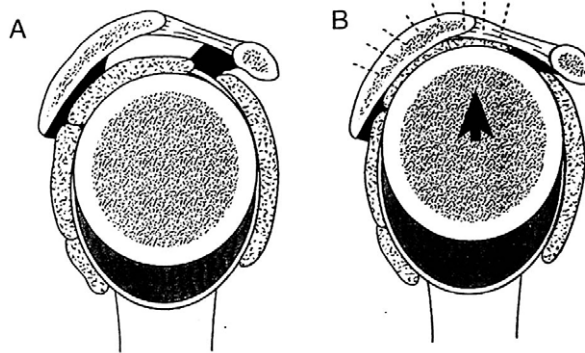


Fig. 26.

2. Coordinated Function of the Rotator Cuff

삼각근의 전단력에 대해 저항하기 위하여 회전근 개는 조화를 이루어 작용한다. 극상근은 거상 초기 중요한 elevator이지만 거상이 증가함에 따라 moment arm은 감소하게 된다. 사체 실험에서 극상근을 마비시켜 실험한 결과 거상시, 특히 15-45도의 거상 초기 중 삼각근(middle deltoid)의 activity가 가장 크게 증가하는 것으로 조사되었다.

3. Force Couples

one muscle(primary agonist)에 의해 발생된 force는 antagonist muscle의 activation을 유발하여 joint의 stability를 유지한다. antagonist muscle은 “eccentric contraction”을 하거나 agonist와 같은 magnitude로 neutralization force를 반대 방향으로 만들어낸다. 견관절에 작용하는 다양한 forces도 여러 planes에서 이와 같은 force couples을 만드는데, coronal plane에서는 삼각근이 cephalad direction으로 상완골 두를 당기는 작용을 하고 이에 대해 견갑하근, 극하근 및 소원형근은 삼각근에 대한 counteracting functional unit로서 상완골 두를 depression시키는 역할을 한다. 또한 transverse plane에서는 견갑하근과 극하근이 균형을 이뤄 force couple을 구성한다.

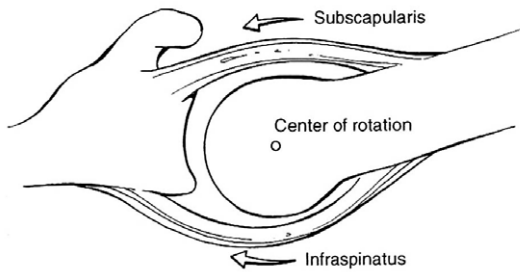


Fig. 27.

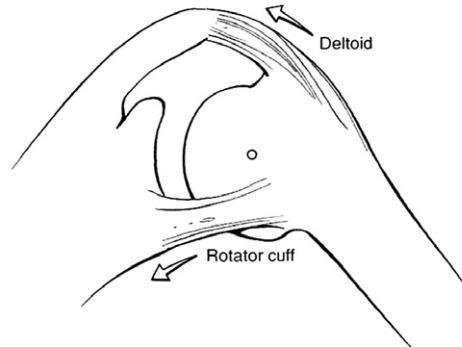


Fig. 28.

Anatomy and Biomechanics related with Motion

견관절이란 우리 몸에서 운동범위가 가장 큰 관절로 견관절 운동은 관절과 상완 관절 운동(glenohumeral motion), 견갑 흉곽 관절 운동(scapulothoracic motion), 견봉 쇄골 관절 운동(acromioclavicular motion)과 흉골 쇄골 관절 운동(sternoclavicular motion)으로 구성이 되며, 관절과 상완 관절 운동과 견갑 흉곽 관절 운동을 합쳐 상완 흉곽 관절 운동(humerothoracic motion)이라 한다. 견관절의 운동 중 거상 운동(elevation)은 크게 4가지로 1) 굴곡 운동(flexion), 2) 신전 운동(extension), 3) 외전 운동(abduction), 4) 견갑 운동(scaption)으로 나누어 표현할 수 있다. 시상면(sagittal plane)에서의 전방 거상 운동은 굴곡 운동이며 후방 거상 운동은 신전 운동이다. 관상면(coronal plane)에서의 거상 운동이 외전 운동으로, 견갑면(scapular plane)에서의 거상 운동이 견갑 운동이다.

180도의 견관절 전방 거상이 가능하다면 이는 관절과 상완 관절(glenohumeral joint)에서 120도, 견갑 흉곽 관절(scapulothoracic joint)에서 60도 가량이 일어나게 된다. 실제로는 외전 30도까지는 관절과 상완 관절에서만 운동이 일어나고 그 다음부터는 관절과 상완 관절 대 견갑 흉곽 관절의 비가 많게는 4.5:1 대개는 2:1의 비율로 운동이 일어나게 된다. 거상 운동 초기에는 관절과 상완 관절에서 주로 일어나지만 120도 이상 거상에서는 견갑 흉곽 관절에서 더 많이 관여하게 된다. 거상 운동 도중 상완골 두의 대 결절(greater tuberosity)은 견봉과 부딪히는 것을 막기 위하여 자연스럽게 외회전(external rotation)을 하면서 팔이 올라가게 되는데 이러한 외회전은 거상운동이 커지면서 더 증가하게 된다(obligatory external rotation). 또한 내/외회전 운동은 거상시보다 가슴 옆 중립위에서 많이 일어나게 되는데 이는 상방 관절낭보다 하방 관절낭이 느슨하기 때문이다.

REFERENCES

1. Bigliani LU, Pollock RG, Soslowsky LJ, Flatow EL, Pawluk RJ, Mow VC. Tensile properties of the inferior glenohumeral ligament. J Orthop Res. 1992;10:187-97.
2. Blasler RB, Soslowsky LJ, Malicky DM, Palmer ML. Posterior glenohumeral subluxation: active and passive stabilization in a biomechanical model. J Bone Joint Surg Am. 1997;79:433-40.
3. Browne AO, Hoffmeyer P, Tanaka S, An KN, Morrey BF. Glenohumeral elevation studied in three dimensions. J Bone Joint Surg Br. 1990;72:843-5.
4. Burkhart SS, Esch JC, Jolson RS. The rotator crescent and rotator cable: an anatomic description of the

- shoulder' s "suspension bridge". *Arthroscopy*. 1993;9:611-6.
5. Burkhart SS. Fluoroscopic comparison of kinematic patterns in massive rotator cuff tears. A suspension bridge model. *Clin Orthop*. 1992;284:144-52.
 6. Clark JM, Harryman DT 2nd. Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. *J Bone Joint Surg Am*. 1992;74:713-25.
 7. Edelson JG, Taitz C. Anatomy of the coraco-acromial arch. Relation to degeneration of the acromion. *J Bone Joint Surg Br*. 1992;74:589-94.
 8. Flatow EL, Soslowsky LJ, Ticker JB, Pawluk RJ, Hepler M, Ark J, Mow VC, Bigliani LU. Excursion of the rotator cuff under the acromion. Patterns of subacromial contact. *Am J Sports Med*. 1994;22:779-88.
 9. Flatow EL, Warner JJ. Instability of the shoulder: complex problems and failed repairs: Part I. Relevant biomechanics, multidirectional instability, and severe glenoid loss. *Instr Course Lect*. 1998;47:97-112.
 10. Freedman L, Munro RR. Abduction of the arm in the scapular plane: scapular and glenohumeral movements. A roentgenographic study. *J Bone Joint Surg Am*. 1966;48:1503-10.
 11. Fukuda H, Hamada K, Nakajima T, Tomonaga A. Pathology and pathogenesis of the intratendinous tearing of the rotator cuff viewed from en bloc histologic sections. *Clin Orthop*. 1994;304:60-7.
 12. Fukuda H. Partial-thickness rotator cuff tears: a modern view on Codman' s classic. *J Shoulder Elbow Surg*. 2000;9:163-8.
 13. Habermeyer P, Schuller U, Wiedemann E. The intra-articular pressure of the shoulder: an experimental study on the role of the glenoid labrum in stabilizing the joint. *Arthroscopy*. 1992;8:166-72.
 14. Harryman DT 2nd, Sidles JA, Clark JM, McQuade KJ, Gibb TD, Matsen FA 3rd. Translation of the humeral head on the glenoid with passive glenohumeral motion. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72:1334-43.
 15. Harryman DT 2nd, Sidles JA, Harris SL, Matsen FA 3rd. The role of the rotator interval capsule in passive motion and stability of the shoulder. *J Bone Joint Surg Am*. 1992;74:53-66.
 16. Howell SM, Galinat BJ, Renzi AJ, Marone PJ. Normal and abnormal mechanics of the glenohumeral joint in the horizontal plane. *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70:227-32.
 17. Jost B, Koch PP, Gerber C. Anatomy and functional aspects of the rotator interval. *J Shoulder Elbow Surg*. 2000;9:336-41.
 18. Kibler WB, McMullen J. Scapular dyskinesia and its relation to shoulder pain. *J Am Acad Orthop Surg*. 2003;11:142-51.
 19. Kibler WB. The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med*. 1998;26:325-37.
 20. Lazarus MD, Sidles JA, Harryman DT 2nd, Matsen FA 3rd. Effect of a chondral-labral defect on glenoid concavity and glenohumeral stability. A cadaveric model. *J Bone Joint Surg Am*. 1996;78:94-102.
 21. Levy AS, Kelly BT, Lintner SA, Osbahr DC, Speer KP. Function of the long head of the biceps at the shoulder: electromyographic analysis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2001;10:250-5.
 22. Lippitt S, Matsen F. Mechanisms of glenohumeral joint stability. *Clin Orthop*. 1993;291:20-8.
 23. Lohr JF, Uthoff HK. The microvascular pattern of the supraspinatus tendon. *Clin Orthop*. 1990;254:35-8.
 24. Malicky DM, Soslowsky LJ, Blasler RB, Shyr Y. Anterior glenohumeral stabilization factors: progressive effects in a biomechanical model. *J Orthop Res*. 1996;14:282-8.
 25. Natsis K, Tsikaras P, Totlis T, Gigis I, Skandalakis P, Appell HJ, Koebke J. Correlation between the four types of acromion and the existence of enthesophytes: a study on 423 dried scapulas and review of the literature. *Clin Anat*. 2007;20:267-72.
 26. O' Brien SJ, Neves MC, Arnoczky SP, Rozbruck SR, Dicarolo EF, Warren RF, Schwartz R, Wickiewicz TL. The anatomy and histology of the inferior glenohumeral ligament complex of the shoulder. *Am J*

- Sports Med. 1990;18:449-56.
27. Pagnani MJ, Deng XH, Warren RF, Torzilli PA, O' Brien SJ. Role of the long head of the biceps brachii in glenohumeral stability: a biomechanical study in cadavera. J Shoulder Elbow Surg. 1996;5:255-62.
 28. Soslowky LJ, Malicky DM, Blasier RB. Active and passive factors in inferior glenohumeral stabilization: a biomechanical model. J Shoulder Elbow Surg. 1997;6:371-9.
 29. Speer KP, Deng X, Borrero S, Torzilli PA, Altchek DA, Warren RF. Biomechanical evaluation of a simulated Bankart lesion. J Bone Joint Surg Am. 1994;76:1819-26.
 30. Turkel SJ, Panio MW, Marshall JL, Girgis FG. Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. J Bone Joint Surg Am. 1981;63:1208-17.
 31. Warner JJ, Deng XH, Warren RF, Torzilli PA. Static capsuloligamentous restraints to superior-inferior translation of the glenohumeral joint. Am J Sports Med. 1992;20:675-85.
 32. Wuelker N, Schmotzer H, Thren K, Korell M. Translation of the glenohumeral joint with simulated active elevation. Clin Orthop. 1994;309:193-200.